

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЗРАЧНЫХ ПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОК ИТО И ОРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ.**

*Ю.С. Жидик, П.Е. Троян*

(г. Томск, ТУСУР, zhidikyur@mail.ru; p.e.troyan@mail.ru)

## **RESEARCH OF TRANSPARENT SPENDING FILMS ITO AND OPTIMIZATION OF TECHNOLOGY OF THEIR RECEPTION.**

*Y.S. Zhidik, P.e. Troyan*

В последнее время все большее количество работ различных коллективов сообщает о перспективах применения пленок ИТО (indium tin oxide), соединения, содержащего 90 весовых %  $\text{In}_2\text{O}_3$  и 10 весовых %  $\text{Sn}_2\text{O}$ . Использование пленок ИТО с прозрачностью, близкой к 100% в видимой области спектра (коэффициент пропускания применявшихся ранее пленок Ni/Au составляет около 45%), существенно увеличивает эффективность вывода света из кристалла светодиода [1–3]. При этом технология получения пленок (условия нанесения, температуры отжига и т. д.) у разных авторов различна. Так, в работах [1,2] пленки наносились магнетронным напылением, а в [3] авторы останавливают свой выбор на системе Ni/ИТО, в которой дополнительный слой Ni используется для снижения величин контактного сопротивления к p-GaN.

Первые, проведенные нами, напыления пленок ИТО магнетронным распылением в атмосфере Ar на стеклянную подложку комнатной температуре показали, что их прозрачность недостаточна (менее 1% при толщине пленки 100 нм), и для ее увеличения требуется дополнительная обработка пленки.

В большинстве работ для повышения прозрачности пленок, полученных различными методами, проводился их дополнительный отжиг. Так в работе [4] приведена оценка влияния температуры отжига на прозрачность пленок. Стандартные покровные стекла толщиной 0.17 мм с нанесенным на них слоем ИТО толщиной 140 нм подвергались отжигу как в вакууме с остаточным давлением 0.5 Па, так и при атмосферном давлении, на воздухе. Согласно результатам эксперимента авторами отмечено, что с ростом температуры коэффициент пропускания пленок существенно возрастает, при этом пленки, отожженные в вакууме, проигрывают в прозрачности отожженным на воздухе. Известно, что на прозрачность пленок может влиять как число центров поглощения (например, кислородных вакансий), так и размер зерен (кристаллитов) пленок.

С целью проверки влияния температуры отжига на структуру получаемых пленок в [4] проводился их рентгенофазный анализ. Результаты показали, что исходные пленки являются аморфными, в то время как рентгенограмма отожженных образцов обнаружила их кристаллическое строение. При этом размер кристаллитов увеличивается с увеличением температуры отжига и давления в камере. Так, оцененное авторами значение размера кристаллитов образцов, отожженных при давлении 0.5 Па и температуре 300°C, составляет 7 нм, а при атмосферном давлении и 450°C — 14 нм.

Приняв во внимание полученные Марковым и др. результаты, проводя отжиг полученных пленок и измеряя их поверхностное сопротивление, было выявлено, что при отжиге пленок в атмосфере воздуха повышается не только их прозрачность, но и на порядок вырастает их поверхностное сопротивление. С целью выявления причины повышения поверхностного сопротивления пленок ИТО после отжига был проведен рентгеноспектральный микроанализ состава пленок до и после отжига, данные которого отображены на рисунке 1.

Рентгеноспектральный микроанализ показывает, что при отжиге пленки ИТО происходят изменения в ее составе. Вероятно, что при нагреве исходных аморфных пленок происходит испарение атомов металлов с поверхностных слоев, одновременно поверхностью пленки адсорбируется кислород из атмосферы, который, окисляя ее, увеличивает поверхностное сопротивление.

Так же следует сказать и о вкладе размерного эффекта в увеличение сопротивления пленки при уменьшении ее толщины. Т.е. при уменьшении толщины пленки ИТО до величины, соизмеримой с длиной свободного пробега электронов, границы пленки накладывают геометрическое ограничение на их движение, вследствие чего происходит рассеяние электронов на поверхностях, и число соударений с поверхностью начинает составлять значительную часть. [5]

Решение задачи повышения удельного поверхностного сопротивления ИТО было найдено в [6]. Оно достигается тем, что электропроводящую пленку из оксидов индия и олова напыляют на подложку методом магнетронного распыления мишени в среде аргона и кислорода при следующем технологическом режиме:

- температура подложки более 300°C;
- суммарное давление аргона и кислорода в вакуумной камере  $(1-2) \cdot 10^{-1}$  Па;
- содержание кислорода в вакуумной камере 50%;
- удельная мощность разряда 0,7 Вт/см<sup>2</sup> при токе разряда 0,12 А.

После напыления удельное поверхностное сопротивление оксидной пленки составляет 500-2000 Ом/□ при ее толщине 0,2-0,3 мкм. Сразу после напыления оксидной пленки прекращают подачу газов и вакуумную камеру откачивают до давления порядка  $4 \cdot 10^{-3}$  Па. Затем, подложку нагревают до температуры 400°C и отжигают оксидную пленку в течение не менее 30 мин. В процессе высокотемпературной обработки оксидной пленки атомы кислорода, внедренные между узлами кристаллической решетки или расположенных на границах зерен, диффундируют из объема оксидной пленки. Образующиеся кислородные вакансии действуют как доноры для электронов, увеличивая их концентрацию. В результате отжига удельное поверхностное сопротивление оксидной пленки уменьшается как за счет увеличения концентрации электронов, так и за счет увеличения их подвижности и составляет 10-15 Ом/□.

Увеличение температуры отжига более 400°C практически не приводит к уменьшению удельного поверхностного сопротивления менее 10-15 Ом/□, что связано с постоянством подвижности электронов при температуре более 400°C.

Оптическая прозрачность оксидной пленки полученной вышеописанным способом на длине волны 500 нм составляет 94-96%. В процессе отжига адгезия оксидной пленки не ухудшается и не происходит ее растрескивание.

*Работа связана с выполнением гранта РФФИ №11-08-98056 р-сибирь-а.*

#### Литература:

1. Margalith T., Buchinsky O., Cohen D.A., Abare A.C.. Appl. Phys. Lett., 1999. 3930 p.
2. Chang C.S., Chang S.J., Su Y.K., Lin Y.C., Hsu Y.P. Sci. Technol., 2003. 18 p.
3. Lin Y.C., Chang S.J., Su Y.K., Tsai T.Y., Chang C.S. Solid-State Electron., 2003. 849 p.
4. Л.К. Марков, И.П. Смирнова. Отражающий р-контакт на основе тонких пленок ИТО для флип-чип светодиодов AlGaInN // Физика и техника полупровод. 2009. Т. 43. С. 1564.
5. К.И. Смирнова. Тонкие пленки в микроэлектронике: Учебное пособие. 2007. С. 91.
6. Зима В.Н. Способ получения прозрачной электропроводящей пленки на основе оксидов индия и олова // Пат. 2181389 РФ, МНК C23C14/08. - № 99114197/02; Заяв. 29.06.1999; Оpubл. 20.04.2002.



Рис. 3. Рентгеноспектральный микроанализ состава пленок ИТО.